

## **Controller for compensation of torque changes has neural operating unit generated by training neural network with data from at least one engine prototype**

**Publication number:** DE10115045

**Publication date:** 2002-10-02

**Inventor:** DUERSCHMIDT FERRY (DE)

**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG (DE)

**Classification:**

**- international:** F02D29/02; F02D41/14; F02D29/02; F02D41/14; (IPC1-7): F02D45/00; F02D29/02

**- european:** F02D29/02; F02D41/14B8

**Application number:** DE20011015045 20010327

**Priority number(s):** DE20011015045 20010327

**Report a data error here**

### **Abstract of DE10115045**

The device has a neural operating unit (14) for generating output values from input values and the engine (1) has an arrangement for detecting its operating state. The neural operating unit is generated by training a neural network with data from at least one engine prototype and the operating unit works as the trained neural network works. AN Independent claim is also included for a method of programming a controller for an engine for a vehicle.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 101 15 045 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**F 02 D 45/00**  
F 02 D 29/02

21 Aktenzeichen: 101 15 045.8  
22 Anmeldetag: 27. 3. 2001  
43 Offenlegungstag: 2. 10. 2002

71 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Dürschmidt, Ferry, Dipl.-Phys., 71292 Friolzheim,  
DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 **Steuervorrichtung zur Kompensation einer Drehmomentänderung**

57 Die Erfindung betrifft eine Steuervorrichtung zur Kompensation eines Drehmomentverlustes beim Einschalten von Hilfsaggregaten eines Motors, wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung eine neuronale Operationseinheit umfaßt, die mittels Training eines neuronalen Netzes erzeugt wird, sowie ein Verfahren zur Programmierung einer Steuervorrichtung für einen Motor, wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung eine neuronale Operationseinheit umfaßt.  
Bei der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung ist vorgesehen, daß das neuronale Netz aus Versuchsdaten eines Prototypen eines Motors unter Einsatzbedingungen trainiert wurde.

DE 101 15 045 A 1

DE 101 15 045 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Steuervorrichtung zur Kompensation einer Drehmomentänderung beim Einschalten oder Ausschalten von Hilfsaggregaten eines Motors, wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung eine neuronale Operationseinheit umfaßt, die mittels Trainings eines neuronalen Netzes erzeugt wird. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Programmierung einer Steuervorrichtung für einen Motor, wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung eine neuronale Operationseinheit umfaßt.

[0002] Antriebe von technischen Systemen, insbesondere Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen, sind üblicherweise mit Nebenaggregaten ausgestattet. Die Nebenaggregate, beispielsweise der Antrieb einer Klimaanlage oder einer Servo-Lenkung, sind nicht dauernd eingeschaltet, sondern werden bei Bedarf automatisch zugeschaltet. Der Motor muß daher nach dem Zuschalten des Hilfsaggregates ein erhöhtes Drehmoment aufbringen. Wird das Hilfsaggregat direkt von der Antriebswelle bzw. der Kurbelwelle des Motors angetrieben, kann dies insbesondere in bestimmten Betriebssituationen, so z. B. im Leerlauf, bei erhöhter Last oder während des Anfahrens, zur Folge haben, daß der Motor zunächst in ein höheres Teillastenniveau zu bringen ist, um einen unrunder Lauf oder ein Absterben des Motors zu verhindern. Dies bedeutet, daß gleichzeitig oder um die Totzeit des Motors vorausseilend beim Einschalten des Hilfsaggregates das aufzuwendende Drehmoment bekannt sein muß. Es reicht nicht aus, das aufzuwendende Drehmoment erst zu bestimmen, nachdem das Hilfsaggregat zugeschaltet wurde. Entsprechend braucht der Motor nur noch ein niedrigeres Drehmoment aufzubringen, wenn das Hilfsaggregat nicht mehr benötigt wird und daher automatisch wieder abgeschaltet wird. Auch in dieser Situation ist es wünschenswert, daß die Reduzierung des Drehmoments rechtzeitig ermittelt wird, um insbesondere ein Rucken und unregelmäßiges Fahren eines durch den Motor betriebenen Fahrzeugs zu vermeiden.

[0003] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Steuervorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bereitzustellen, die das beim Einschalten eines Hilfsaggregates zusätzlich aufzubringende Drehmoment zuverlässig und rechtzeitig bereitstellen kann und die beim Ausschalten des Hilfsaggregates das abgegebene Drehmoment wieder in erforderlichem Umfang drosselt.

[0004] Diese Aufgabe wird durch eine Steuervorrichtung nach Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren nach Patentanspruch 12 gelöst.

[0005] Bei der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung ist vorgesehen, daß ein neuronales Netz aus Versuchsdaten eines Prototypen eines Motors unter Einsatzbedingungen trainiert wird und dadurch eine neuronale Operationseinheit erzeugt wird. Unter einer neuronalen Operationseinheit wird eine Operationseinheit mit Eingängen und Ausgängen verstanden, die die Ausgangswerte in Abhängigkeit von den Eingangswerten genauso oder wenigstens mit einer zureichend geringen Abweichung wie das mit den Versuchsdaten trainierte neuronale Netz bestimmt. Eine solche Operationseinheit kann durch Software oder Hardware realisiert sein. Dem Fachmann sind verschiedene Realisierungsformen bekannt. Erfindungsgemäß ist die neuronale Operationseinheit Bestandteil der Steuervorrichtung.

[0006] Die neuronale Operationseinheit sagt das erforderliche Drehmoment rechtzeitig vorher. Die Motorsteuerung ändert daraufhin die Steuerung des Motors so ab, daß dieser das erforderliche Drehmoment rechtzeitig vor dem Zuschal-

ten eines Hilfsaggregats bereitstellt (Anspruch 2).

[0007] Ein derartig realisierter Regler für einen Motor bietet gegenüber klassischen, auf einem physikalischen Modell basierenden Reglern den Vorteil, daß das zeitliche Verhalten der zu regelnden Strecke, diese ist hier der Motor, richtig wiedergegeben wird. Der Aufwand, der für das Aufstellen eines physikalischen Modells erforderlich ist, entfällt. Insbesondere kann der Regler bei Veränderungen an der Konfiguration oder an Betriebsparametern des Motors durch einfaches Neu-Trainieren an einen Prototypen angepaßt werden.

[0008] Die erfindungsgemäße Steuervorrichtung gelangt vorzugsweise bei einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges zum Einsatz (Anspruch 3), kann aber ebenso an alle anderen Motoren und Einsatzfälle angepaßt werden.

[0009] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Steuervorrichtung (Anspruch 4) ist vorgesehen, daß die Mittel zur Erfassung des Betriebszustandes das Drehmoment und/oder die Drehzahl der Kurbelwelle und/oder die Kraftstoffmenge messen können. Es handelt sich hier um Parameter, die regelmäßig durch Motor-Management-Systeme erfaßt werden und daher ohne zusätzlichen Aufwand für die Steuervorrichtung verfügbar sind.

[0010] Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die Steuervorrichtung zusätzliche Meßwerte zum Fahrzustand des Fahrzeuges erfassen kann (Anspruch 5). Meßwerte zum Fahrzustand des Fahrzeuges sind vorzugsweise die Geschwindigkeit und/oder der Lenkwinkel und/oder die Lenkwinkelgeschwindigkeit (Anspruch 6). Es handelt sich hier ebenfalls um leicht meßbare Parameter, die mit geringem meßtechnischen Aufwand zugänglich sind.

[0011] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß das Hilfsaggregat eine Lenkhilfspumpe ist (Anspruch 7). In zwei alternativen Ausführungsformen ist vorgesehen, daß das Hilfsaggregat ein Kompressor einer Klimaanlage (Anspruch 8) oder ein Stromgenerator (Anspruch 10) ist. Es handelt sich hier jeweils um Verbraucher, die nur unter bestimmten Betriebsbedingungen eingeschaltet werden, die im Falle des Einschaltens aber ein hohes Drehmoment benötigen. Ohne einen regelungstechnischen Ausgleich des für die Verbraucher aufzuwendenden zusätzlichen Drehmomentes würde dies insbesondere im Leerlauf des Motors zu einem nicht hinnehmbaren Drehzahnabfall des Motors führen. Die erfindungsgemäße neuronale Operationseinheit sagt diesen Ausgleich vorher und übermittelt diese Vorhersage vorzugsweise in Form von Sollwerten für das Drehmoment an die Motorsteuerung. Die Motorsteuerung ändert die Arbeitsweise des Motors so ab, daß dieser das erforderliche Drehmoment bereitstellt.

[0012] Im Falle des Kompressors der Klimaanlage vermag die Steuereinrichtung zusätzlich die am Klimasteuerggerät eingestellte Kühlleistung und/oder den Druck des Kältemittels zu erfassen (Anspruch 9). Im Falle des Stromgenerators vermag die Steuereinrichtung zusätzlich die Bordspannung und den Ladezustand der Batterie zu erfassen (Anspruch 11).

[0013] Das eingangs genannte Problem wird auch durch ein Verfahren nach Patentanspruch 12 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß zunächst eine neuronale Operationseinheit erzeugt wird, indem ein neuronales Netz mit Daten aus mindestens einem Versuch unter Einsatzbedingungen mit mindestens einem Prototypen des Motors trainiert wird, und die Operationseinheit danach in die Steuervorrichtung, vorzugsweise in dessen Mikroprozessor, implementiert wird. Man erhält auf diese Weise eine neuronale Operationseinheit, die optimal an das regelungstechnische Problem, nämlich die Steuerung des Motors, angepaßt ist, ohne daß das neuronale Netz jeweils im Serienfahrzeug zu

trainieren wäre. Die Verarbeitungsschritte der neuronalen Operationseinheit können vom Mikroprozessor der Motorsteuerung leicht zusätzlich abgearbeitet werden. Das neuronale Netz erhält eine dem Problem angepasste Struktur. Seine Parameter werden beim Vorgang des Trainierens automatisch bestimmt. Diese Verfahren sind für Regelungstechniker standardmäßig bekannt.

[0014] Eine Ausgestaltung schlägt vor, das neuronale Netz nicht nur mit den Versuchsdaten zu trainieren, sondern zusätzlich auch mit Daten aus dem Betrieb des Motors (Anspruch 13). Insbesondere dann, wenn sich Leistungsparameter des Motors oder eines Hilfsaggregats ändern, wird das neuronale Netz mit aktuellen Versuchsdaten erneut trainiert und eine neue neuronale Operationseinheit erzeugt, die in der Steuervorrichtung die alte Operationseinheit ersetzt (Anspruch 14).

[0015] Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindungen anhand der beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben.

[0016] Fig. 1 Eine schematische Darstellung einer Steuervorrichtung für einen Verbrennungsmotor;

[0017] Fig. 2 Eine Prinzip-Skizze zum Training des neuronalen Netzes.

[0018] Zunächst wird auf Fig. 1 Bezug genommen. Dargestellt ist die Steuerung eines Motors 1 mit einer Lenkhilfspumpe 2 als Nebenverbraucher. Bei Geradeausfahrt ist diese Pumpe 2 ausgeschaltet. Falls der Fahrer z. B. eine starke Lenkbewegung bei höherer Geschwindigkeit oder eine schnelle Lenkbewegung vornimmt, wird die Lenkhilfspumpe 2 automatisch zugeschaltet, was vom Motor 1 ein höheres Drehmoment erfordert. Ist die Kurvenfahrt beendet, so wird die Pumpe wieder automatisch abgeschaltet, und nur noch ein niedrigeres Drehmoment wird benötigt. Der Motor 1 gibt über eine Kurbelwelle 3 sein Antriebsmoment 4 an ein Fahrzeug 5 weiter. Die Lenkhilfspumpe 2 ist beispielsweise über ein nicht dargestelltes Getriebe mit der Kurbelwelle 3 des Motors 1 verbunden und belastet diese mit einem Belastungsmoment 6. Der Motor 1 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ein Ottomotor eines Kraftfahrzeuges, es kann sich aber ebenso um andere Verbrennungsmotoren oder Wärmekraftmaschinen oder Elektromotoren in Fahrzeugen, ortsfesten Anlagen oder beliebigen anderen Einsatzumgebungen handeln.

[0019] Die Steuerung des Motors 1 erfolgt über die Stellung einer Drosselklappe 7 sowie über die Verstellung eines Zündwinkels 8. Sowohl die Stellung der Drosselklappe 7 als auch der Zündwinkel 8 werden von einer Motorsteuerung 9 geregelt. Die Motorsteuerung 9 ist ein elektronischer Regler. Eine Eingangsgröße der Motorsteuerung 9 ist der üblicherweise über ein nicht dargestelltes Gaspedal vom Fahrer 30 übermittelte Momentenwunsch 10.

[0020] Durch Betätigen der hier nicht dargestellten Bedienelemente des Kraftfahrzeuges, wie Gaspedal und Lenkrad, nimmt der Fahrer 30 Einfluß auf Lenkwinkel 11 sowie Lenkwinkel-Geschwindigkeit 13 und Fahrzeuggeschwindigkeit 12. Insbesondere der Lenkwinkel 11 und die Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 bewirken eine Betätigung der Lenkhilfspumpe 2, so daß das Belastungsmoment 6 auf das Antriebsmoment 4 des Motors 1 aufgeschlagen wird und dieses vermindert.

[0021] Die Größen Lenkwinkel 11, Fahrzeuggeschwindigkeit 12 sowie Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 werden über hier nicht dargestellte Meßfühler und Digital-Analog-Wandler einer neuronalen Operationseinheit 14 zugeführt. Dessen Ausgang 15 liefert eine Momentenvorhersage 16, die wiederum als Stellgröße 17 auf einen Eingang der Motorsteuerung 9 gelegt wird. Die neuronale Operationseinheit 14 sagt das erforderliche Drehmoment als Absolutwert oder

als Differenz zum aktuellen Drehmoment vorher. Die Motorsteuerung 9 ändert die Regelung des Motors so ab, daß das nach Zuschalten des Hilfsaggregats erforderliche Drehmoment erzeugt wird, und zwar so rechtzeitig, daß dieses Drehmoment trotz Totzeit und Reaktionszeit des Motors bereitgestellt wird, also bei Bedarf bevor das Hilfsaggregat eingeschaltet wird.

[0022] Der Motor 1, die Lenkhilfspumpe 2 sowie das Fahrzeug 5 bilden insgesamt die zu regelnde Strecke. Die Motorsteuerung 9, die Momentenvorhersage 16 sowie die neuronale Operationseinheit 14, die mittels des neuronalen Netzes erzeugt wurde, bilden den Regler. Der Fahrer 30 des Kraftfahrzeuges 5 gibt über die ihm zur Verfügung stehenden Bedienelemente die Soll-Größe, dies ist in diesem Fall das für das Fahrzeug 5 zur Verfügung stehende Restmoment 18, vor. Unter Restmoment wird das Drehmoment verstanden, das zum Antrieb des Fahrzeugs verbleibt, wenn das zugeschaltete Hilfsaggregat Drehmoment aufnimmt.

[0023] Anhand Fig. 2 wird im folgenden das Erzeugen der neuronalen Operationseinheit 14 durch Trainieren des neuronalen Netzes beschrieben. Ziel des Training ist es, das für das Fahrzeug 5 gemäß Fig. 1 zur Verfügung stehende Drehmoment gemäß der durch den Fahrer 30 vorgegebene Sollgröße konstant zu halten. Dazu wird zunächst mit einem Versuchsfahrzeug das an der Kupplung zur Verfügung stehende Drehmoment in Abhängigkeit von Lenkwinkel 11, Fahrzeuggeschwindigkeit 12 sowie Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 unter verschiedenen Umgebungsbedingungen ermittelt. Die Umgebungsbedingungen sind vorzugsweise trockene Straße und normale Temperaturen.

[0024] Eine Ausgestaltung der Erfindung schlägt vor, in einem zweiten Schritt während des Trainings des neuronalen Netzes Versuchsdaten bei trockener und nasser Straße sowie bei tiefen, mittleren und hohen Temperaturen zu gewinnen. Diese Abhängigkeiten werden zusätzlich in der neuronalen Operationseinheit berücksichtigt und werden als Eingangsgrößen in der Fig. 1 bereitgestellt. Da die neuronale Operationseinheit vorzugsweise im Steuergerät der Motorelektronik implementiert ist, werden dem Steuergerät zusätzlich zu den Größen Lenkwinkel, Fahrzeuggeschwindigkeit und Lenkwinkelgeschwindigkeit noch die Eingangsgrößen Ansauglufttemperatur 131 und ein Meßwert 132 zum Regenfall zur Verfügung gestellt. Den Meßwert zum Regenfall kann ein spezieller Regensensor oder ein Sensor im Scheibenwischersystem zur Verfügung stellen.

[0025] Ebenso ist es möglich, Daten eines Prototyps im Betrieb zu sammeln und aufzuzeichnen und diese Daten im nachhinein zu Trainingszwecken zu benutzen.

[0026] Die Größen Lenkwinkel 11, Fahrzeuggeschwindigkeit 12 sowie Lenkwinkelgeschwindigkeit 13 werden zugleich auf den Eingang der neuronalen Operationseinheit 14 gelegt. Die neuronale Operationseinheit 14 liefert eine Vorhersage für das zu erwartende, dem Fahrzeug 5 zur Verfügung stehende Drehmoment.

[0027] Die Differenz zwischen dieser Vorhersage und dem tatsächlich ermittelten Drehmoment z. B. an der Kupplung ist ein Maß für die Güte der mittels der neuronalen Operationseinheit 14 erzielten Vorhersage.

[0028] Falls das Hilfsaggregat wie gerade beschrieben eine Lenkhilfspumpe ist, so erfaßt die Steuervorrichtung Geschwindigkeit, Lenkwinkel und Lenkwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Falls das Hilfsaggregat ein Klimakompressor ist, so erfaßt die Steuervorrichtung die am Klimasteuergerät eingestellte Kühlleistung und den Druck des Kühlmittels. Falls das Hilfsaggregat ein Stromgenerator ist, so erfaßt die Steuervorrichtung die Bordspannung und den Ladezustand der Batterie.

[0029] Das Training des neuronalen Netzes kann mit allen

dem Fachmann bekannten Lernverfahren erfolgen, beispielsweise gradientenbasierten Lernverfahren oder evolutionären Strategien.

#### Patentansprüche

1. Steuervorrichtung zur Kompensation einer Drehmomentveränderung beim Ein- oder Ausschalten mindestens eines Hilfsaggregats (2) eines Motors (1), wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung eine neuronale Operationseinheit (14) umfaßt, die aus Eingangswerten Ausgangswerte erzeugt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die neuronale Operationseinheit (14) erzeugt wird, indem ein neuronales Netz mit Daten aus mindestens einem Versuch unter Einsatzbedingungen mit mindestens einem Prototypen des Motors (1) trainiert wird und die neuronale Operationseinheit (14) so wie das trainierte neuronale Netz arbeitet. 10
2. Steuervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuervorrichtung eine Motorsteuerung umfaßt, die in Abhängigkeit von den Ausgangswerten der neuronalen Operationseinheit (14) auf den Motor dergestalt einwirkt, daß bei Einschalten des Hilfsaggregats (2) der Motor (1) ein erhöhtes Drehmoment abgibt und bei Ausschalten des Hilfsaggregats (2) der Motor (1) ein reduziertes Drehmoment abgibt. 15
3. Steuervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Motor (1) ein Verbrennungsmotor eines Fahrzeuges ist. 20
4. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erfassung des Betriebszustandes das Drehmoment und/oder die Drehzahl der Kurbelwelle und/oder die Kraftstoffmenge messen können. 25
5. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuervorrichtung zusätzlich Meßwerte zum Fahrzustand des Fahrzeuges erfassen kann. 30
6. Steuervorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte zum Fahrzustand des Fahrzeuges Geschwindigkeit und/oder Lenkwinkel und/oder Lenkwinkelgeschwindigkeit sind. 35
7. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfsaggregat (2) eine Lenkhilfspumpe ist. 40
8. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfsaggregat (2) ein Kompressor einer Klimaanlage ist. 45
9. Steuervorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuervorrichtung zusätzlich die am Klimasteuergerät eingestellte Kühlleistung und/oder den Druck des Kältemittels erfassen kann. 50
10. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfsaggregat (2) ein Stromgenerator ist. 55
11. Steuervorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Motor (1) ein Fahrzeug mit einer Batterie zu bewegen vermag und die Steuervorrichtung zusätzlich die Bordspannung und/oder den Ladezustand der Batterie erfassen kann. 60
12. Verfahren zur Programmierung einer Steuervorrichtung für einen Motor, wobei der Motor Mittel zur Erfassung seines Betriebszustandes umfaßt und wobei die Steuervorrichtung ein neuronales Netz umfaßt **dadurch gekennzeichnet**, daß zunächst eine neuronale Operationseinheit erzeugt wird, indem ein neuronales Netz mit den Daten von 65

mindestens einem Versuch unter Einsatzbedingungen mit mindestens einem Prototypen des Motors trainiert wird

und die neuronale Operationseinheit danach in die Steuervorrichtung implementiert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß für das Trainieren des neuronalen Netzes zusätzlich Daten aus dem Betrieb des Motors verwendet werden.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder Anspruch 13 dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einmal nach Erzeugung der neuronalen Operationseinheit das neuronale Netz erneut trainiert wird, dadurch eine neue neuronale Operationseinheit (14) erzeugt wird und in der Steuervorrichtung die zuvor erzeugte neuronale Operationseinheit (14) durch die neue neuronale Operationseinheit (14) ersetzt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

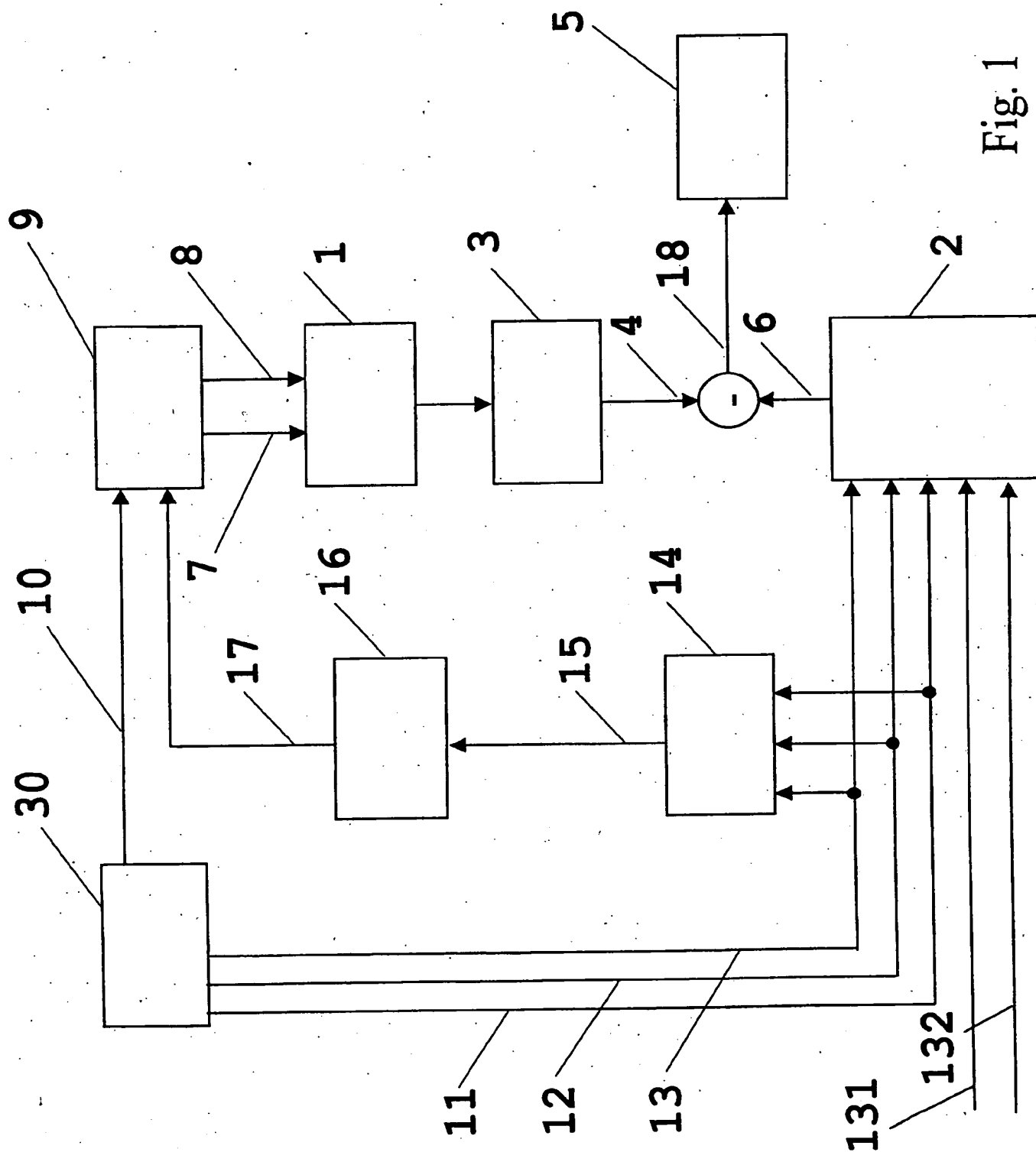


Fig. 1

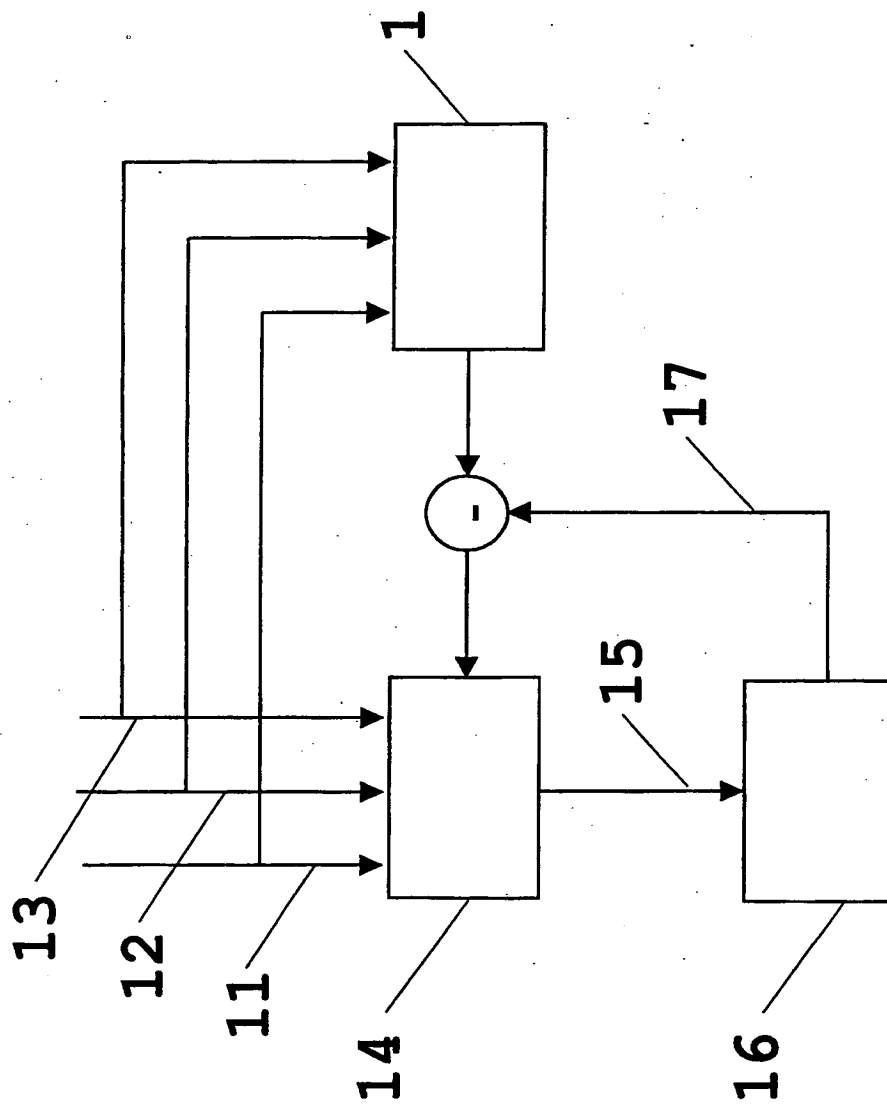


Fig. 2